# VERSUCHE ZUR BESTIMMUNG
DES
# PHYSIOLOGISCHEN QUERSCHNITTES VON MUSKELN.

INAUGURAL-DISSERTATION

VERFASST UND DER

HOHEN MEDICINISCHEN FAKULTÄT

DER

KGL. BAYER. JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT WÜRZBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

HARRY GANS

APPROB. ARZT

AUS

POSEN.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

WÜRZBURG.

V. N. SEUBERT'S BUCHDRUCKEREI.

1905.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg.

Referent: Herr Prof. v. Frey.

Meinen Eltern

in

Liebe und Dankbarkeit gewidmet.

Der Widerstand, den die Muskeln ihrer Dehnung entgegensetzen, und ebenso die Kraft, die sie im tätigen Zustand entwickeln, ist, sofern es sich um parallelfaserige Muskeln handelt, ihren Querschnitten proportional zu setzen.

Bei gefiederten Muskeln ist die Feststellung des massgebenden physiologischen Querschnittes nicht so einfach; ihre mechanische Wirksamkeit ist bestimmt sowohl durch die Zahl der vorhandenen Fasern, als auch durch ihre Anordnung zur Zugrichtung des Muskels.

Wollte man diese Aufgabe einer vollständigen und strengen Lösung zuführen, so müsste der Muskel in Serienschnitte zerlegt und aus denselben wieder in vergrössertem Massstabe rekonstruiert werden, und zwar nicht nur im schlaffen, sondern auch im kontrahierten Zustande.

Es ist daher begreiflich, dass man an Stelle dieses höchst umständlichen Verfahrens einfachere zu setzen suchte. So hat Eduard Weber Seite 87 und ff. seiner klassischen Monographie [1]) für den von ihm gebrauchten Muskel den Gesamtquerschnitt, d. h. die Summe der Querschnitte seiner Fasern bestimmt, indem er das Volumen dieses Muskels durch die Länge seiner Fasern dividierte. Die Bestimmung der mittleren Faserlänge ist bei der grossen Zahl von Fasern und ihrer verschiedenen Länge natürlich eine recht unsichere.

R. Fick und F. W. Grohmann [2]) haben an Stelle dieser indirekten Bestimmung eine direkte zu

---

[1]) Handwörterbuch der Physiologie. Herausgegeben von R. Wagner III. Band zweite Abteilung.

[2]) Archiv für Anatomie und Physiologie 1902.

setzen gesucht, indem sie die Muskeln möglichst senkrecht zur Faserrichtung durchschnitten, den Querschnitt auf Papier abdrückten und in geeigneter Weise auswerteten.

Für kleinere Muskeln dürfte dieses Verfahren schwer durchführbar sein, und ich habe mich daher auf Vorschlag des Herrn Professor von Frey der Zählung der Fasern zugewendet.

Die Zahl der Fasern eines Muskels könnte freilich auch nur dann als ein Mass für seinen physiologischen Querschnitt genommen werden, wenn die Fasern alle gleich dick wären, was sie, wie bekannt, nicht sind. Wohl aber ist eine Vergleichung zweier Muskeln möglich, wenn in ihnen dicke und dünne Fasern ungefähr in gleichen Mengenverhältnissen vorkommen. Ein solches Verhalten trifft nun, wie ich mich durch die Beobachtung und Messung (s. u.) isolierter Fasern mehrfach überzeugt habe, für den Musculus gastrocnemius und den Musculus sartorius von Rana esculenta sehr annähernd zu. Jedenfalls steht, wie ich entgegen der Angabe von Bonhoeffer[3]) (Dissertation Tübingen 1889) behaupten muss, der Gastrocnemius von Rana esculenta in Bezug auf den Gehalt an feinen Fasern dem Sartorius nicht nach. Dass ein solches Missverhältnis, wie der genannte Autor angibt, für die Muskeln von Rana temporaria besteht, soll damit nicht bestritten werden.

Nimmt man also an, dass das Mengenverhältnis zwischen dicken und dünnen Fasern in den genannten beiden Muskeln von Rana esculenta dasselbe ist, so müssen die Faserzahlen multipliziert mit dem Cosinus des Winkels zwischen Faser- und Zugrichtung des Gesamtmuskels den physiologischen Querschnitten und damit der Muskelkraft proportional sein.

[3]) Bonhoeffer, Dissertation Tübingen 1889.

# I. Zählung der Muskelfasern.

Zur Zählung der Muskelfasern benutzte ich verschiedene Macerationsverfahren, wie sie in den Lehrbüchern der Histologie von Schiefferdecker[4]) (Braunschweig 1889) und Fol[5]) (Leipzig 1896) sowie in der Abhandlung von W. Felix[6]) (Festschrift für v. Kölliker 1887) empfohlen werden. Meine Erfahrungen sind folgende:

1. Kalilauge von 33%. Dieselbe lässt den Muskel glasig aufquellen und löst ihn bei längerer Einwirkung völlig auf, so dass sie für vorliegenden Zweck ungeeignet erschien.

2. Die mit chlorsaurem Kali gesättigte Salzsäure wirkte zu intensiv. Bei kurzer Einwirkung löste sie wohl die äussere Lage des Muskels, liess aber das Innere desselben vollständig fest; bei längerer Benutzung zerstörte sie den Muskel.

3. und 4. Auch die mit 200 und 500 ccm. Wasser verdünnte vorige Flüssigkeit ergab keinen Erfolg. Die Muskeln hatten glasiges Aussehen in ihr erhalten und waren stark gequollen, zerfielen aber nicht.

5. In der kalt gesättigten Oxalsäure war nach kurzer Einwirkung gar kein Erfolg sichtbar, nach wochenlanger war der Zusammenhang der Fasern gelockert, ein Zerfall ohne mechanische Nachhilfe aber nicht eingetreten.

6. Das Barytwasser, in dem der Muskel circa 6 Stunden

---

4) Behrens, Kossel und Schiefferdecker: Das Mikroskop und die Methoden der mikroskopischen Untersuchung.

5) Fol: Lehrbuch der vergleichenden mikroskopischen Anatomie mit Einschluss der vergleichenden Histologie und Histogenie.

6) Felix: Die Länge der Muskelfaser bei dem Menschen und einigen Säugetieren.

lag, verwandelte denselben in eine schleimige, aber nicht in Fasern zerfallende Masse.

7. Bei längerem Digerieren in konzentrierter Sublimatlösung bei 45—60⁰ Celsius zerfiel der Muskel nicht von selbst, sondern erst beim Zerzupfen in seine Fasern

8. Die Kochmethode erwies sich als ganz brauchbar. Nach $1^1/_2$stündigem Kochen liess sich der stark kontrahierte Muskel leicht in seine Fasern zerlegen.

9. Den besten Erfolg ergab die concentrierte rauchende Salpetersäure.

Die Anforderungen, die im vorliegenden Fall an die Methode zu stellen waren, gingen dahin, dass die Muskelfasern vollständig erhalten und womöglich gehärtet, die bindegewebigen Teile aber gelöst wurden, so dass die geringsten mechanischen Einwirkungen schon genügten, den Muskel in seine Fasern zerfallen zu lassen.

Allen diesen Anforderungen genügte die Salpetersäure. In dieser schrumpft der Muskel sehr stark — z. B. von 4,5 cm auf 1,6 cm — und nach 40—60 Minuten kann man ihn dann durch blosses Schütteln im Reagenzglase leicht in seine Fasern zerlegen. Ausserdem werden in ihr — und dies ist ein Vorzug vor der Kochmethode — die Fasern intensiv gelb gefärbt, so dass selbst die dünnsten leicht sichtbar sind. Die einzelnen Muskelfasern selbst sind ziemlich resistent, vorausgesetzt, dass nach der Isolation die Salpetersäure sofort ausgewaschen wird und die Fasern auch nicht länger als einige Tage in Wasser aufgeschwemmt bleiben.

Bei Betrachtung der isolierten Fasern sieht man, wie bereits erwähnt, eine nahezu gleich grosse Anzahl dünner wie dicker Fasern. Beim Gastrocnemius fanden sich unter 184 gezählten Muskelfasern 102 dünne und

82, also 44,6% dicke Fasern, während unter 185 Muskelfasern des Sartorius 104 dünne und 81 dicke, mithin 43,8% dicke Fasern gezählt wurden.

Die Dicke der Fasern des Gastrocnemius schwankt in erheblichem Masse. Neben Fasern von 0,03—0,06 mm. Dicke finden sich solche von 0,23—0,31 mm. und zwischen diesen Extremen alle Mittelwerte.

Auch die Länge der Fasern ist sehr verschieden. Beim Gastrocnemius scheinen die meisten circa 8 mm. lang zu sein, doch kommen vereinzelt auch kürzere vor. Eine nicht geringe Zahl von Fasern ist aber länger als 8 mm., die längsten, nur spärlich vertretenen, messen 18 mm.

Um mich zu vergewissern, dass bei der Isolierung der Fasern nicht zugleich eine Zerstückelung stattfindet, habe ich eine sehr grosse Zahl der auf Glasplatten ausgebreiteten Fasern mikroskopisch auf ihre Enden untersucht, da es sehr leicht ist, ein natürliches Ende von einem durch Bruch entstandenen zu unterscheiden. Dabei zeigte sich, dass die Enden der Fasern des Gastrocnemius a n d e r s g e f o r m t sind als die des Sartorius. Die Fasern des letzteren enden, in Übereinstimmung mit den Angaben der Lehrbücher, abgerundet oder mehr oder weniger zugespitzt. Die Fasern des Gastrocnemius sind dagegen an den Enden fast stets etwas verdickt und entweder glatt abgeschrägt oder leicht ausgebuchtet, so dass Formen entstehen, die am besten mit den distalen Enden der Tibia oder des Radius verglichen werden können.

Um die Anzahl der Fasern festzustellen, verfuhr ich folgendermassen:

Die durch Schütteln mit Wasser im Reagenzglas isolierten Fasern goss ich auf Glasplatten von 9×12 cm.

aus und verteilte sie mit Hülfe von Nadeln gleichmässig über die Fläche. Die Glasplatten wurden zu diesem Zweck auf eine schwarze Unterlage gebracht und für gutes Licht Sorge getragen, weil das Aufreihen der einzelnen Fasern sonst die Augen zu sehr anstrengt. Auf diese Weise aber gelang es ziemlich leicht die durch die Salpetersäure gelb gefärbten Fasern, die sich von der Unterlage gut abhoben, auf der Glasplatte auszubreiten. Das Wasser, das beim Aufgiessen der Fasern auf die Glasplatten gelangt war, wurde mit feinen Pipetten abgesaugt, die Platten an der Luft getrocknet, worauf die Fasern festhafteten.

Das Zählen der Fasern wurde gleichfalls auf der schwarzen Unterlage vorgenommen und dadurch erleichtert, dass die Platte durch feine Farbstriche in kleinere Bezirke geteilt wurde, in denen sich die Fasern leicht übersehen und zählen liessen.

## 1. Die Faserzahl des Gastrocnemius.

Die Ergebnisse waren für drei durchgezählte Gastrocnemien folgende:

Gastrocnemius eines Frosches von circa 50 gr.
totale Faserzahl 7662.

2 Gastrocnemien eines Frosches von circa 30 gr.
Muskel der einen Seite: Faserzahl 5584.
Muskel der anderen Seite: Faserzahl 5387.

Hiezu ist zu bemerken: Die erstgenannte Zählung stammt von dem Vorversuch, der nur dazu dienen sollte, die Methode zu erproben und mir eine erste Orientierung zu verschaffen. Die Trennung der Fasern war noch eine unvollkommene. Die Salpetersäure hatte das Innere des Muskels noch nicht genügend gelockert, so dass ich

genötigt war, häufig kleinere Stücke mit Nadeln zu zerteilen. Auf diese Weise wurden, wie die spätere Untersuchung ergab, die Fasern trotz aller Vorsicht teilweise entzweigerissen und daher doppelt gezählt.

Bei den beiden späteren Zählungen liessen sich die Muskelfasern lediglich durch Schütteln im Reagenzglas tadellos isolieren; einige wenige Fasern zerrissen beim Aufreihen auf die Platte. Um aber auch hier keinen Irrtum aufkommen zu lassen, wurde jedesmal der eine Teil der zerrissenen Faser beseitigt. Dass ich die Methode des Isolierens, des Aufreihens und Zählens bei diesen beiden Fällen sicher beherrschte, geht aus der guten Übereinstimmung in den beiden symmetrischen Muskeln hervor.

Die Annahme, dass dem grösseren Frosche bezw. Muskel mehr Fasern zukommen, ist, wie noch erörtert werden soll, nicht zulässig. Ich halte vielmehr die erste Zählung aus dem angegebenen Grunde für fehlerhaft und lasse sie unberücksichtigt. Aus den beiden anderen befriedigend übereinstimmenden Zählungen folgt, dass der Gastrocnemius von Rana esculenta im Mittel 5485 Fasern enthält.

## 2. Die Faserzahl des Sartorius.

Die Zählung wurde nur an einem einzigen Muskel von Rana esculenta nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren ausgeführt Die Trennung der einzelnen Fasern gelang äusserst leicht und der Unterschied zwischen der ansehnlichen und gleichartigen Länge bei diesem Muskel und den sehr ungleich langen und vorwiegend kurzen Fasern des Gastrocnemius war sehr auffallend. Die Länge der Muskelfasern des Sartorius schwankte zwischen 12—28 mm., wobei zu bemerken ist, dass die

kürzeren in der Minderzahl vorhanden sind. Die Dicke der Fasern ist aber auch beim Sartorius, wie schon oben erwähnt, eine sehr schwankende; es kommen Fasern von 0,04—0,21 mm. Dicke vor.

Meine Zählung ergab 518 Fasern. Trotzdem ich nur über diese eine Zählung verfüge, zweifle ich nicht an ihrer Richtigkeit, weil sie in bester Übereinstimmung steht mit dem Ergebnis von Zählungen, die J. Kunkel[7]) vor einer Reihe von Jahren an Querschnitten des Muskels, also nach einer anderen Methode ausgeführt hat. (Festschrift für v. Kölliker Leipzig 1887).

Er fand in den Sartorien dreier Frösche von 95,5, 48,5 und 20,5 gr. Gewicht bezw. 508, 516 und 496 Fasern. Diese Ermittlungen sind weiter noch dadurch wertvoll, dass sie die Faserzahl von der Grösse des Tieres in weiten Grenzen unabhängig erscheinen lassen.

Zu genau dem gleichen Schlusse ist Mac Callum[8]) gekommen, (Johns Hopkins Hospital Bulletin No. 90/91 1898) der die Faseranzahl menschlicher Sartorien bestimmte, indem er in einem bekannten Bruchteil der ganzen Querschnittsfläche die Fasern zählte und daraus die Gesamtzahl berechnete. Er fand:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Erwachsener rechts | | | 142118 | Fasern |
| Erwachsener links | | | 136406 | „ |
| Neugeborener | | | 113304 | „ |
| | | | 120745 | „ |
| Embryo von 130 mm. | | Nackensteisslänge | 151657 | „ |
| „ | „ 106 | „ | 128408 | „ |
| „ | „ 75 | „ | 45205 | „ |
| „ | „ 65 | „ | 26055 | „ |
| „ | „ 46 | „ | 6509 | „ |

7) Kunkel: Studien über die quergestreifte Muskelfaser.

8) Mac Callum: On the histogenesis of the striated muscle fibre, and the growth of the human sartorius muscle.

Aus diesen Befunden folgt, dass bereits in den späteren Stadien der embryonalen Entwicklung die endgültige Faserzahl erreicht wird, und das weitere Wachstum des Muskels nur noch auf Verlängerung und Verdickung der Fasern beruht.

Unter diesen Umständen stehe ich nicht an, die von Kunkel ermittelten Zahlen und die meinige trotz der verschiedenen Gewichte der Tiere zusammenzustellen und daraus das Mittel zu ziehen.

Die Einzelwerte sind:

| Frosch | Beobachter | Faserzahl |
|---|---|---|
| 95,5 gr. | Kunkel | 508 |
| 48,5 gr. | „ | 516 |
| 20,5 gr. | „ | 496 |
| 50 gr. | ich | 518 |
| | Mittel | 509 |

Der Sartorius von Rana esculenta enthält im Mittel 509 Fasern.

## II. Bestimmung der Faserrichtung.

Da die Fasern des Sartorius in der Zugrichtung des Muskels verlaufen, so kann sein physiologischer Querschnitt, wie bekannt, dem anatomischen gleich gesetzt werden.

Um die Richtung der Fasern im Gastrocnemius in Bezug auf jene Linie zu ermitteln, die seinen Ursprung mit der Achillessehne verbindet, habe ich von gehärteten und in Paraffin eingebetteten Muskeln sowohl in frontaler als auch in sagittaler Richtung Schnittserien angelegt.

Es wurde stets der ganze Unterschenkel gehärtet, indem er mit gestrecktem Knie- und Fussgelenk auf

einen Holzspahn festgebunden wurde. Auf diese Weise erhalten die Fasern des Gastrocnemius eine mittleren Spannungswerten entsprechende Länge und Stellung in Bezug auf die Aponeurosen, an denen sie enden. Die Schnittserien wurden in Canadabalsam eingeschlossen, und unter Benutzung eines Mikroskops mit drehbarem und geteiltem Objekttisch und mit Netzokular die in Betracht kommenden Winkel bestimmt.

Es sind dies entweder die Winkel zwischen der mittleren Aponeurose des Muskels und den von ihr entspringenden Muskelfasern oder aber die Winkel, welche von den federartig auseinanderstrahlenden Muskelfasern eingeschlossen werden. Letztere Winkel müssen natürlich halbiert werden.

Auf beiden Wegen kam ich zu Werten von $11^0$—$15^0$, im Mittel $13^0$. Da der Cosinus von $13^0$ den Wert von 0,975 hat, so ist der physiologische Querschnitt um $2\frac{1}{2}\,\%$ kleiner, als er sich aus der Summe der Querschnitte der Muskelfasern berechnen würde.

Den 509 Fasern des Sartorius stehen demnach $5485 \times 0,975$ Fasern des Gastrocnemius gegenüber, wenn man sich letzteren Muskel durch einen ihm dynamisch äquivalenten parallelfaserigen Muskel ersetzt denkt.

Mit anderen Worten die physiologischen Querschnitte der beiden Muskel verhalten sich zu einander

wie 509 : 5344 oder
wie 1 : 10,5.

Sei also der Querschnitt eines Sartorius gleich 6 qmm, ein Wert, der, wie die Messungen von M. Goto[9]) ergeben, sehr häufig vorkommt, so würde der physiologische Querschnitt des Gastrocnemius zu 63 qmm anzusetzen sein.

---

[9]) M. Goto: Dehnungsversuche an gelähmten Muskeln. Zeitschrift für Biologie. Bd. 46. S. 338 1904.

In letzter Zeit hat Adolf Basler[10]) im Laboratorium von Prof. Grützner das Verhältnis der absoluten Kraft der beiden Muskeln direkt zu ermitteln gesucht und dasselbe zwischen 1 : 8,7 und 1 : 14,3 schwankend gefunden. Das von mir nachgewiesene Verhältnis der physiologischen Querschnitte liegt nun ziemlich genau in der Mitte zwischen den beiden Zahlen von Basler, worin ich eine erfreuliche Uebereinstimmung der auf ganz verschiedenen Wegen gewonnenen Ergebnisse erblicke.

---

An dieser Stelle erlaube ich mir, Herrn Prof. v. Frey für die Zuweisung der Arbeit und für die freundliche Unterstützung bei derselben, sowie für die Übernahme des Referats meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

---

10) Ad. Basler: Über das verschiedene Verhalten des Sartorius und Gastrocnemius des Frosches bei Ermüdung. Archiv für die ges. Physiologie Bd. 106.

# Lebenslauf.

---

Ich, Harry Gans, preussischer Staatsangehörigkeit, bin geboren am 4. Januar 1882 zu Posen als Sohn des Kaufmanns Albert Gans in Posen. Nach Besuch des Kgl. Friedrich-Wilhelm-Gymnasiums zu Posen erwarb ich mir Ostern 1900 an letzterem das Reifezeugnis und bezog im April 1900 die Universität zu Heidelberg. Das nächste Semester brachte ich in Berlin zu und setzte im Sommersemester 1901 meine Studien in Würzburg fort. Dort verbrachte ich das dritte bis inclusive 6. Semester. Im 5. Semester genügte ich meiner militärischen Dienstpflicht beim kgl. 9 Inf.-Regiment zu Würzburg. Im 7. und 8. Semester studierte ich in Berlin und kehrte im 9. Semester nach Würzburg zurück. Hier unterzog ich mich der ärztlichen Staatsprüfung, die ich am 11. März 1905 bestand.

Vorstehende Dissertation habe ich unter Leitung des Herrn Prof. von Frey verfasst.